Tendencias Sociales. Revista de Sociología, 15 (2026):141-166
Facultad de Ciencias Políticas y Sociología, UNED
Asociación Madrileña de Sociología, AMS

Principios matemáticos de la sociología económica

Mathematical principles of economic sociology

Jerónimo López López
https://orcid.org/0009-0009-9329-2869
jlopez6143@alumno.uned.es
Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), *España*

Recibido: 28/05/2025
Aceptado: 14/07/2025

Resumen. Este artículo propone la formalización matemática de los principios fundamentales de la sociología económica aplicada a contextos emocionales, integrando herramientas matemáticas como la teoría de grafos, sistemas dinámicos, la topología social, la teoría de juegos no monetaria y la estadística aplicada a las relaciones humanas. Desde una crítica a la escasa modelización formal en la literatura sociológica en contextos económicos, se pretende presentar un marco analítico que permita representar y simular la dinámica de las relaciones humanas y sociales en contextos económicos no monetarios, donde la afectividad, la reciprocidad y el poder simbólico representa la parte central en nuestro análisis. El modelo busca superar la dicotomía entre lo cualitativo y lo cuantitativo, ofreciendo una vía de análisis para la predicción de comportamientos sociales complejos. El artículo concluye con una reflexión sobre las implicaciones teóricas y metodológicas de esta propuesta para el desarrollo de una sociología económica más precisa y empíricamente rigurosa.

Palabras clave: Sociología económica; Formalización matemática; Teoría de grafos; Sistemas dinámicos; Topología social; Teoría de juegos; Emociones**.**

Abstract: This article proposes the mathematical formalization of the fundamental principles of economic sociology applied to emotional contexts, integrating mathematical tools such as graph theory, dynamical systems, social topology, non-monetary game theory, and statistics applied to human relationships. Starting from a critique of the scarce formal modeling in sociological literature within economic contexts, it aims to present an analytical framework capable of representing and simulating the dynamics of human and social relationships in non-monetary economic environments, where affectivity, reciprocity, and symbolic power are central to our analysis. The model seeks to overcome the dichotomy between qualitative and quantitative approaches, offering a pathway for analyzing and predicting complex social behaviors. The article concludes with a reflection on the theoretical and methodological implications of this proposal for the development of a more precise and empirically rigorous economic sociology.

Key words: Economic sociology; Mathematical formalization; Theory of graphs; Dynamic systems; Social topology; Game Theory; Emotion

INTRODUCCIÓN

Las matemáticas son el alma de las ciencias, sean sociales o formales, y la sociología económica, como rama de la sociología, no debe estar exenta de ella. Esta rama ha evolucionado como la disciplina que busca comprender y explicar los fenómenos económicos desde una perspectiva afectiva, relacional e institucional. Desde los trabajos fundamentales de Max Weber —quien definió la acción social como aquella orientada por el comportamiento de otros dentro de un sistema de significados compartidos, y propuso que la economía está profundamente vinculada a estructuras sociales y simbólicas (Weber, 1922/1978)— y Karl Polanyi —quien introdujo el concepto de *embeddedness* para señalar que la economía está incrustada en la sociedad (Polanyi, 1944)— hasta las contribuciones actuales de Mark Granovetter y Viviana Zelizer, se ha puesto de manifiesto que la acción económica no debe estudiarse ni entenderse de forma aislada, sino como parte de un entramado relacional y cultural. sino que está profundamente vinculada a estructuras sociales, redes de relaciones y sistemas simbólicos (Granovetter, 1985; Zelizer, 2011). Sin embargo, a pesar de la riqueza conceptual acumulada, la disciplina continúa enfrentando la limitación metodológica de los principios matemáticos que deberían estudiarse en esta disciplina.

La mayoría de los estudios en sociología económica se apoyan en enfoques cualitativos, análisis históricos o estadística descriptiva, lo que dificulta la construcción de modelos analíticos capaces de representar, simular y predecir dinámicas sociales complejas (Forni, 2022). Esta carencia limita la capacidad de la disciplina para dialogar con otras ciencias formales y para generar aspectos aplicables en estudios empíricos, computacionales o de política pública.

Este artículo propone una aproximación innovadora a la sociología económica mediante la aproximación matemática y numérica de sus principios fundamentales. Para ello, se integran ramas como la teoría de grafos, los sistemas dinámicos, la topología social, la teoría de juegos no monetaria y la estadística aplicada a las relaciones humanas. Estas herramientas permiten representar con precisión estructuras sociales, vínculos afectivos y procesos de decisión no monetarios, abriendo nuevas posibilidades para el análisis interdisciplinar.

El objetivo principal es construir un marco analítico que permita representar y simular la dinámica de las relaciones humanas en decisiones económicas no monetarias, donde la afectividad, la reciprocidad y el poder simbólico constituyen elementos centrales.

En el presente trabajo, el término contextos económicos no monetarios se refiere a aquellos entornos sociales en los que las interacciones económicas entre agentes no están mediadas por dinero, sino por valores simbólicos, afectivos y relacionales. Estos contextos incluyen redes de reciprocidad, vínculos de confianza, intercambios de reconocimiento, reputación y apoyo mutuo, que generan efectos económicos sin implicar transacciones monetarias explícitas. La elección de este enfoque responde a la necesidad de formalizar matemáticamente fenómenos económicos que emergen en espacios donde lo emocional y lo simbólico constituyen el núcleo de la acción social. En consecuencia, se propone un marco analítico que permita representar y simular estas dinámicas desde las matemáticas rigurosas, superando las limitaciones de los modelos clásicos centrados exclusivamente en el intercambio monetario.

Esta propuesta busca contribuir al desarrollo de una sociología económica más rigurosa, empíricamente robusta y capaz de abordar los desafíos del mundo contemporáneo, presentando los principios matemáticos de la sociología económica.

REVISIÓN DE LITERATURA

La sociología económica ha avanzado en la comprensión de cómo las relaciones sociales influyen en los comportamientos económicos, pero aún presenta la limitación metodológica de los conceptos y las formas matemáticas y cuantitativas abstractas en la disciplina. Aunque existen antecedentes en la sociología matemática (Edling, 2002; Coleman, 1990), la mayor parte de los estudios siguen apoyándose en enfoques superficiales y modelos estadísticos, sin recurrir la mayoría de ellos a fuente principalmente matemáticas como el cálculo y el análisis matemático.

Por otro lado, la teoría de grafos ha sido aplicada con éxito en el análisis de redes económicas (König & Battiston, 2009), permitiendo representar vínculos entre agentes y estudiar fenómenos como la difusión de innovaciones o la desigualdad estructural. Sin embargo, estos modelos suelen centrarse en interacciones monetarias, dejando de lado dimensiones afectivas y simbólicas. Además, la modelización de decisiones no monetarias ha sido escasamente explorada por diferentes comunidades de la sociología. Algunos autores (Bruni, 2008) han señalado que los modelos económicos tradicionales no capturan adecuadamente aspectos como la reciprocidad, el bienestar simbólico o la justicia relacional, lo que limita su capacidad explicativa en entornos sociales complejos y por ende, sus predicciones matemáticas.

Cabe recalcar que los avances recientes en sociología computacional refuerzan la pertinencia de formalizar matemáticamente las dinámicas sociales. Shan (2025) propone un marco de aprendizaje automático cuántico para simular la génesis de normas sociales, destacando la autoorganización de sistemas normativos bajo incertidumbre. Voelkel y Freese (2022), por su parte, defienden una ciencia social computacional abierta, basada en la reproducibilidad y el análisis de datos a gran escala. Estas perspectivas se alinean con la propuesta matemática aquí desarrollada, al situarla dentro de los debates contemporáneos sobre la arquitectura social. Asimismo, Forni (2022) subraya la importancia de la formalización matemática en sociología aplicada, aportando modelos que permiten representar con precisión la evolución de estructuras sociales.

En conjunto, la literatura revisada muestra un vacío en la integración de las técnicas matemáticas antes mencionadas en el estudio formal de las relaciones humanas en economía, aunque se están consiguiendo avances significativos. Por ello, este artículo busca contribuir a llenar ese vacío mediante una propuesta interdisciplinar y matemáticamente rigurosa presentado los principios matemáticos para entender la disciplina desde una perspectiva diferente y completamente rigurosa.

MARCO TEÓRICO

La sociología económica se ha consolidado como una disciplina que estudia los fenómenos económicos desde una perspectiva relacional, institucional y cultural. A diferencia de la economía neoclásica, que parte del supuesto de agentes racionales y aislados, la sociología económica sostiene que la acción económica está profundamente influida por las estructuras sociales en las que se inserta. Este enfoque ha sido desarrollado por autores como Max Weber (1905), quien analizó la relación entre religión y capitalismo; Karl Polanyi (1944), que introdujo el concepto de embeddedness para señalar que la economía está incrustada en la sociedad; y Mark Granovetter (1985), quien retomó esta idea para explicar cómo las redes personales afectan las decisiones económicas.

Más recientemente, Viviana Zelizer ha demostrado que las transacciones económicas están impregnadas de significados afectivos y simbólicos, desafiando la idea de que el dinero es un medio neutral. Su trabajo sobre la "economía sentimental" ha abierto nuevas vías para comprender cómo las emociones, los vínculos personales y las normas sociales configuran el comportamiento económico (Zelizer, 2005).

A pesar de estos avances teóricos, la sociología económica debe ampliar las herramientas matemáticas para un análisis más detallado y riguroso de la sociología. La mayoría de los estudios se apoyan en enfoques cualitativos o en análisis estadísticos descriptivos (Reyes Pedreros, 2009), lo que dificulta la construcción de modelos analíticos capaces de representar y simular dinámicas sociales complejas y otros aspectos relacionados con la disciplina. Es por ello por lo que este artículo, intente rellenar ese vacío, para reforzar más la sociología económica como disciplina más formal[1].

METODOLOGÍA

Este trabajo adopta una metodología teórico-formal orientada al desarrollo de modelos matemáticos aplicables a la sociología económica. El enfoque es deductivo y constructivo, partiendo de vacíos identificados en la literatura para diseñar un marco analítico que represente relaciones humanas en acciones y decisiones económicas no monetarias.

Se procede a la teoría de grafos, los sistemas dinámicos, la topología social, la teoría de juegos no monetaria y la estadística relacional, con el fin de modelar vínculos afectivos, estructuras sociales y decisiones basadas en reciprocidad y reconocimiento. Una de las principales aplicaciones usadas para el cálculo y análisis de los contenidos matemáticos ha sido el lenguaje de programación Python. Dicho lenguaje de programación es de propósito general y se utiliza ampliamente en desarrollo web, ciencia de datos, inteligencia artificial, *machine learning* y automatización de tareas, usando paquetes de este lenguaje para el análisis gráfico de datos estadísticos como, por ejemplo, Matplotlib o Seaborn.

El modelo se construye mediante definiciones formales de agentes, vínculos y reglas de interacción, y se valida conceptualmente a través de la comparación con enfoques existentes en economía del comportamiento y sociología relacional, núcleos básicos de la disciplina. Se propone además una simulación teórica para ilustrar el comportamiento emergente de las redes sociales bajo distintos escenarios. En concreto, podemos resumirlos de la siguiente manera:

- Teoría de grafos: Se utilizarán grafos dirigidos y ponderados para representar relaciones sociales y económicas entre agentes. Los nodos representan individuos o grupos, y las aristas indican relaciones de influencia, afecto, cooperación o conflicto. Se analizarán propiedades como centralidad, cohesión, cliques y estructuras jerárquicas.

- Sistemas dinámicos: Se modelarán las dinámicas temporales de las relaciones sociales mediante ecuaciones diferenciales. Esto permitirá estudiar la evolución de redes afectivas, la estabilidad de estructuras sociales y los ciclos de cooperación o conflicto.

- Teoría de juegos no monetaria: Se aplicarán juegos estratégicos en los que los pagos no son monetarios, sino afectivos, reputacionales o sociales. Se explorarán equilibrios de Nash en contextos de reciprocidad, altruismo, presión social y toma de decisiones colectivas.

[1] Se recomienda que el lector consulte y se familiarice en las palabras más técnicas de este artículo en referencia a los conceptos sociológicos, económicos y matemáticos del mismo.

- Topología social: Se utilizarán conceptos topológicos para representar espacios de interacción social, considerando proximidad afectiva, densidad relacional y continuidad de vínculos. Se estudiarán variedades sociales, vecindarios relacionales y fronteras de exclusión.

- Estadística aplicada a relaciones humanas: Se emplearán técnicas estadísticas para inferir patrones de comportamiento, correlaciones entre variables sociales y validación empírica de los modelos. Se utilizarán datos simulados y reales, cuando estén disponibles, para contrastar las hipótesis.

DESARROLLOS MATEMÁTICOS

Teoría de grafos aplicada a las relaciones sociales y económicas

La teoría de grafos permite representar funciones sociales y económicas entre agentes mediante el uso de estructuras discretas. Por ello, un grafo dirigido y ponderado se puede escribir como:

$$G = (V, E, w)$$

Donde:

- V : Es el conjunto de nodos, que permiten representar individuos, relaciones, grupos o instituciones.

- $E \subseteq V x V$: Es el conjunto de aristas dirigidas, que representan relaciones sociales como confianza, respeto, cooperación o conflicto.

- $w : E \rightarrow R$: Es una función que asigna un peso a cada relación, indicando así su intensidad, frecuencia o relevancia.

Este enfoque permite analizar la estructura de las interacciones sociales desde una perspectiva cuantitativa, identificando patrones, jerarquías y dinámicas de poder, clave en nuestro análisis.

Ejemplo

Consideremos una red social compuesta por seis individuos: A, B, C, D, E y F. Las relaciones entre ellos se modelan como aristas dirigidas con pesos que representan niveles de confianza o influencia.

- A confía en B (0,8) y C (0,4)
- B confía fuertemente en C (0,9) y levemente en E (0,2)
- C influye en D (0,6) y F (0,4)
- D confía en E (0,7) y en B (0,6)
- E influye en F (0,5)
- F mantiene una relación débil con A (0,3)

Este grafo permite observar cómo se distribuyen las relaciones, qué nodos son más influyentes y cuáles actúan como puentes entre comunidades.

Análisis de centralidad

Se calculan tres medidas clave:

- Grado de entrada (ponderado): indica cuánta influencia recibe un nodo.
- Grado de salida (ponderado): mide la capacidad de influencia de un nodo.
- Centralidad de indeterminación: refleja cuán frecuentemente un nodo aparece en los caminos más cortos entre otros nodos.

Siguiendo el ejemplo:

- Nodos más influyentes: A y D (mayor grado de salida).
- Nodos menos influyentes: B y C (menos grado de entrada).
- Nodos clave en la red: A y F (mayor grado de intermediación).

En efecto, estos indicadores nos permiten identificar líderes sociales, nodos periféricos y agentes estratégicos en la red. Gráficamente la podemos representar de la siguiente manera:

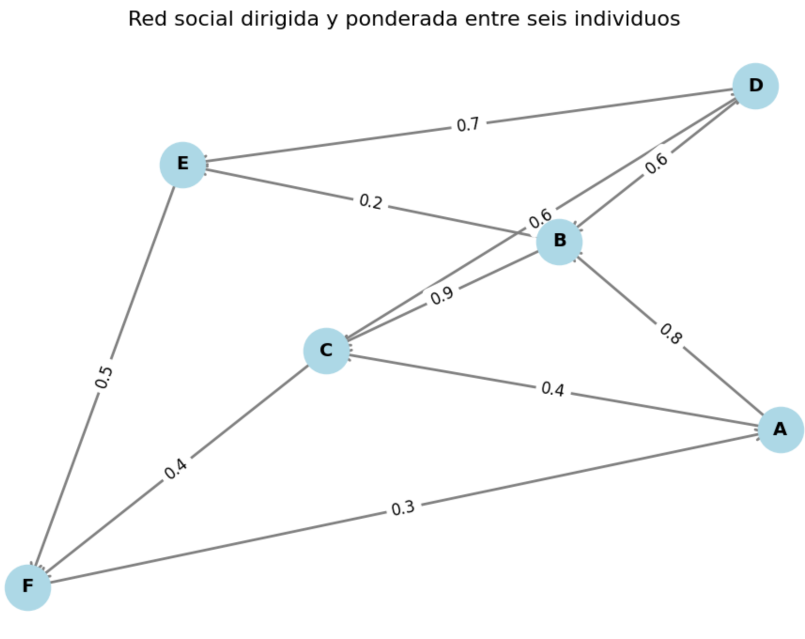

Figura 1. Red social dirigida y ponderada entre seis individuos. Las flechas indican la dirección de la relación y los números representan la intensidad (peso) de cada vínculo.

Fuente: Elaboración propia mediante Python.

Aplicación a la sociología económica

El modelo de grafo dirigido y ponderado presentado en la Figura 1 permite representar formalmente las relaciones sociales que subyacen a los procesos económicos. En el contexto de la sociología económica, estas relaciones no se limitan a transacciones monetarias, sino que incluyen vínculos de confianza, reciprocidad, influencia y cooperación, todos ellos fundamentales para la dinámica de los mercados, las organizaciones y las comunidades.

Cada nodo del grafo representa un agente social —individuo, grupo o institución—, mientras que las aristas dirigidas simbolizan relaciones sociales que afectan decisiones económicas. Los pesos asignados a las aristas cuantifican la intensidad de dichas relaciones, permitiendo distinguir entre vínculos fuertes (por ejemplo, confianza mutua entre socios comerciales) y débiles (como contactos esporádicos o relaciones jerárquicas unilaterales).

Este enfoque permite analizar fenómenos como:

- Capital social: Los nodos con alto grado de entrada y salida representan agentes con gran capacidad de influencia y acceso a recursos sociales, lo que puede traducirse en ventajas económicas.
- Intermediación relacional: La centralidad de intermediación identifica agentes que actúan como puentes entre comunidades, facilitando la circulación de información, bienes o servicios.
- Estructuras de poder y dependencia: Las relaciones asimétricas en el grafo revelan dinámicas de subordinación, liderazgo o exclusión, relevantes en mercados laborales, redes de producción o sistemas de gobernanza.

Así, la teoría de grafos se convierte en una herramienta imprescindible para la sociología económica, al permitir modelar y visualizar las interacciones humanas que sustentan los procesos económicos, integrando dimensiones afectivas, relacionales y estructurales en el análisis.

Aspectos matemáticos avanzados de la teoría de los grafos aplicadas a las relaciones sociales y económicas

Si se quiere un análisis más avanzado y técnico, podemos recurrir a otras formas de análisis matemático en las que están las algebraicas y matriciales para poder definir y desarrollar las formas de manera más concreta.[2]

Matrices de adyacencia y de pesos

Dado un grafo dirigido $G = (V, E, w)$ con n nodos, se puede construir:

- Matriz de adyacencia A : matriz binaria donde $A_{ij} = 1$ si existe arista de i a j .
- Matriz de pesos W : donde $W_{ij} = w(i, j)$ representa la intensidad de la relación.

Estas matrices permiten aplicar álgebra lineal para estudiar conectividad, caminos, y propagación de información o afecto.

Caminos y ciclos

Un camino dirigido de longitud k entre dos nodos representa una secuencia de relaciones encadenadas. El número de caminos posibles puede calcularse mediante potencias de la matriz de adyacencia:

$$A_{ij}^{k} = \text{nº de caminos de } i \text{ a } j$$

Los ciclos pueden indicar reciprocidad, retroalimentación emocional o estructuras de poder cerradas.

Centralidad algebraica

Además de las medidas clásicas, se puede calcular:

- Centralidad del eigenvector: basada en la idea de que un nodo es importante si está conectado a otros nodos importantes. Se obtiene como el vector propio principal de la matriz de adyacencia o de pesos $A \cdot \vec{x} = \lambda \cdot \vec{x}$.

Ejemplo

---

[2] Se recomienda consultar conocimientos de álgebra lineal y de ecuaciones matriciales para poder seguir algunas de las ténicas empleadas en este artículo.

Para ilustrar la aplicación de la teoría de grafos a la sociología económica, se construye un modelo formal de una red social compuesta por seis individuos: A, B, C, D, E y F. A partir de esta estructura, podemos hacer los siguientes análisis matemáticos:

Número de caminos de longitud fija

Para calcular el número de caminos de longitud n entre dos nodos, se utiliza la potencia $n-ésima$ de la matriz de adyacencia A. En este caso particular, se calcula el número de caminos de longitud 3 de A hasta F:

$$(A^3)_{AF} = 3$$

Esto indica que existen tres caminos distintos de longitud 3 que conectan A con F, lo que refleja una estructura relacional intermedia entre ambos nodos.

Centralidad del eigenvector

La centralidad del eigenvector se calcula como el vector propio principal de la matriz de adyacencia ponderada A :

$$A \cdot \vec{x} = \lambda \cdot \vec{x}$$

Donde $\vec{x}$ es el vector centralidades y λ el valor propio dominante.

Resultados:

- $x_F = 1.000$ → nodo más influyente.
- $x_E = 0.0023$ → influencia marginal.
- $x_A = x_B = x_C = x_D = 0.0000$ → baja influencia.

Esto indica que F es el nodo más central en términos de influencia acumulada, actuando como receptor final de confianza en la red.

Sistemas dinámicos aplicados a las relaciones sociales y económicas

La dinámica de las relaciones humanas en los entornos económicos puede ser modelada mediante dichos sistemas, utilizando ecuaciones diferenciales que describen cómo evolucionan variables sociales como la confianza, la cooperación o el conflicto a lo largo del tiempo[3]. Esta formalización rigurosa permite analizar fenómenos como la estabilidad relacional, los ciclos afectivos y el colapso de vínculos sociales.

Consideremos que el nivel de confianza entre dos individuos, denotado por $C(t)$, varía en función del tiempo según la siguiente ecuación diferencial ordinaria usando la notación de Leibniz:

$$\frac{dC(t)}{dt} = \alpha \cdot R(t) - \beta \cdot C(t)$$

Esta es una ecuación diferencial ordinaria lineal de primer orden. Esto es así debido a que $C(t)$ y sus derivadas aparecen en primer grado y no multiplicadas entre sí ni por funciones no lineales. Por lo tanto, esta ecuación cumple con la forma general de una EDO lineal: $\frac{dy}{dt} +$

[3] Las ecuaciones diferenciales se le conocen como las ecuaciones matemáticas que relaciona una función desconocida con sus derivadas, muy útil en el análisis de fenómenos que cambian con el tiempo en relación a otras variables. Para ello, se necesita conocimientos elementales de integración y el conocimiento del Teorma fundamental del Cálculo o Regla de Barrow, que demuestra que integración y derivación son operaciones inversas.

$p(t)y = q(t)$, por lo que podría resolverse mediante métodos clásicos como la transformada de Laplace o el método del factor integrante[4].

Con base a la ecuación diferencial $\frac{dC(t)}{dt} = \alpha \cdot R(t) - \beta \cdot C(t)$, podemos decir que:

- $C(t)$ es la confianza entre dos agentes en el tiempo.
- $R(t)$ es la reciprocidad recibida.
- α mide el impacto positivo de dicha reciprocidad
- β mide el desgaste natural de dicha confianza

Por lo que a estos datos el modelo lineal no es autónomo, y puede extenderse a sistemas acoplados para redes sociales completas. Por ello, también podemos ver que:

- Equilibrio: Si $R(t) = R_0$, el sistema tiene un punto de equilibrio estable $C^* = \frac{\alpha R_0}{\beta}$.
- Estabilidad: El sistema es estable si $\beta > 0$, ya que la confianza converge.
- Oscilaciones: Si $R(t)$ es periódico (por ejemplo, $R(t) + A \, sin \, sin \, (\omega t)$), se generan ciclos afectivos.
- Decaimiento: Si $R(t)$ decrece de forma exponencial, la confianza se erosiona.

Si procedemos a realizar una simulación:

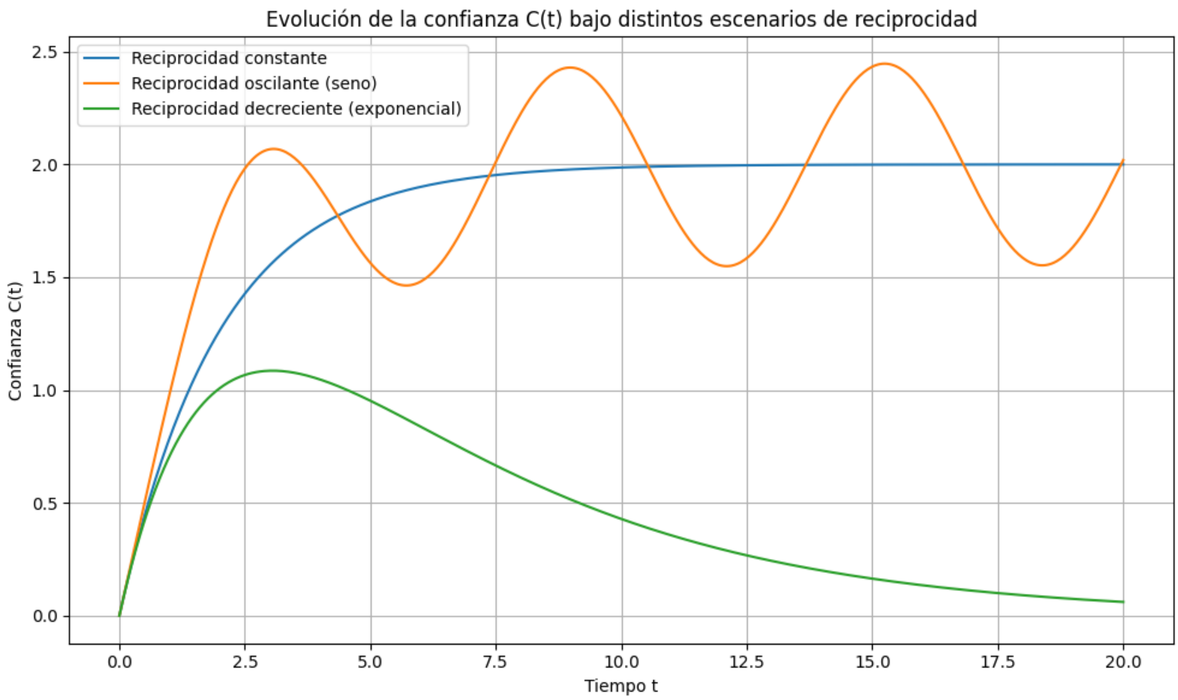

Figura 2. Evolución de confianza C(t) bajo distintos escenarios de reciprocidad. Fuente: Elaboración propia mediante Python.

[4] Cuya fórmula es de la forma μ=e Pxdx, en donde Px corresponde a la función de igual nombre en la forma estándar de una ecuación lineal.

Extensión a redes sociales

Para modelar redes completas, se puede definir un sistema de ecuaciones acopladas:

$$\frac{dC_i(t)}{dt} = \sum_{j=1}^{n} \alpha_{ij} R_{ij}(t) - \beta_i C_i(t)$$

Donde:

- $C_i(t)$: confianza del agente i .
- R_{ij}: reciprocidad entre i y j .
- α_{ij}: sensibilidad de i a la reciprocidad de j .
- β_i: desgaste emocional de i .

Este sistema permite simular dinámicas colectivas, útiles en análisis sociales y económico/empresariales como:

- Emergencia de líderes afectivos.
- Fragmentación de comunidades.
- Cascadas de desconfianza o cooperación

Ejemplo: confianza entre dos compañeros de trabajo

Ana y Luis son dos físicos teóricos trabajan juntos en un proyecto de investigación en el CERN[5]. Al inicio, no se conocen bien, por lo que la confianza entre ellos es nula $C(0) = 0$. Sin embargo, Luis muestra una actitud constante de colaboración y reciprocidad con sus compañeros, valorado por Ana como $R(t) = 1.0$ de forma sostenida.

La evolución de la confianza de Ana hacia Luis se modela con la ecuación:

$$\frac{dC(t)}{dt} = \alpha \cdot R(t) - \beta \cdot C(t)$$

Con los parámetros:

- $\alpha = 1.0$: Sensibilidad emocional de Ana.
- $\beta = 0.5$: Desgaste natural de la confianza si no se refuerza
- $R(t) = 1.0$: Reciprocidad constante de Luis.

Para realizar la ecuación diferencial procedemos a utilizar el método del factor integrante, ya que es útil en este ejemplo.

[5] El CERN (Consejo Europeo para la Investigación Nuclear) es el laboratorio de física de partículas más grande del mundo, fundado en 1954, que se dedica a la investigación de los componentes fundamentales de la materia y las leyes del universo. Su función principal es utilizar aceleradores y detectores de partículas, como el Gran Colisionador de Hadrones (LHC).

Reescribimos la forma estándar de la ecuación:

$$\frac{dC}{dt} + \beta C = \alpha R_0 \Rightarrow \frac{dC}{dt} + 0.5C = 1$$

Calculamos el factor integrante de la ecuación:

$$\mu(t) = e^{\int \beta dt} = e^{0,5t}$$

Multiplicamos toda la ecuación por $\mu(t)$:

$$e^{0,5t} \cdot \frac{dC}{dt} + 0.5e^{0.5t}C = e^{0.5t}$$

Integramos a ambos lados:

$$\int \frac{d}{dt}(e^{0.5t}C)dt = \int e^{0.5t}dt$$

$$e^{0.5t}C = \frac{1}{0.5}e^{0.5t} + C_1 = 2e^{0.5t} + C_1$$

Despejamos $C(t)$:

$$C(t) = 2 + C_1 e^{0.5t}$$

Aplicamos la condición $C(0) = 0$:

$$0 = 2 + C_1 \Rightarrow C_1 = -2$$

En efecto, la solución final será:

$$C(t) = 2 - 2e^{-0.5t}$$

Significado sociológico-económico

- Estabilidad emocional: Si la reciprocidad es constante, la relación tiende a estabilizarse en un nivel de confianza predecible. Esto es clave en relaciones laborales, familiares o comunitarias.
- Sensibilidad emocional: Un agente con alto α responde más rápidamente a gestos de reciprocidad, lo que puede acelerar la construcción de vínculos.
- Desgaste emocional: Un alto β implica que la confianza se pierde rápidamente si no se mantiene. Esto refleja relaciones frágiles o exigentes.
- Capital social acumulado: El valor de equilibrio C^* puede interpretarse como el capital afectivo o confianza estructural entre dos agentes, que influye en decisiones económicas no monetarias como cooperación, delegación, o apoyo mutuo.
- Aplicación en redes: En contextos colectivos, este modelo puede extenderse para simular cómo se forman comunidades, cómo se fragmentan, o cómo emergen líderes afectivos.

Jacobiano y estabilidad local

Para analizar la estabilidad de las relaciones humanas modeladas mediante ecuaciones diferenciales, es útil estudiar el comportamiento del sistema cerca de sus puntos de equilibrio. Esto se realiza mediante el cálculo del Jacobiano, que permite determinar si pequeñas perturbaciones en la confianza se corrigen o se amplifican con el tiempo.

Consideramos la ecuación diferencial no lineal:

$$\frac{dC(t)}{dt} = \alpha R\big(1 - C(t)\big) - \beta C(t)$$

Donde:

- $C(t)$: nivel de confianza entre los agentes.
- α: sensibilidad emocional.
- R: reciprocidad constante.
- β: desgaste emocional.

Donde el punto de equilibrio C^* se obtiene resolviendo:

$$0 = \alpha R(1 - C^*) - \beta C^*$$

Lo que nos da:

$$C^* = \frac{\alpha R}{\alpha R + \beta}$$

Este valor representa el nivel de confianza estable que se alcanza en el largo plazo, dependiendo de la intensidad de la reciprocidad y del desgaste emocional.

El Jacobiano es la derivada de la función que define el sistema respecto a la variable C:

$$J(C) = \frac{d}{dC}[\alpha R(1 - C) - \beta C] = -\alpha R - \beta$$

Este valor es negativo para todo $\alpha,\ R,\ \beta\ > 0$, lo que implica que el sistema es localmente estable: cualquier desviación de la confianza respecto al equilibrio tenderá a corregirse con el tiempo.

TEORÍA DE JUEGOS NO MONETARIA APLICADA A LAS RELACIONES HUMANAS

La teoría de juegos tradicional se ha centrado en decisiones estratégicas en entornos monetarios, como mercados, precios o competencia empresarial. Sin embargo, en la sociología económica-emocional, los agentes no buscan maximizar beneficios financieros, sino valores simbólicos, afectivos y relacionales como la confianza, la reputación, el reconocimiento o la reciprocidad, y que tienen un efecto económico de manera implícita en las elecciones de los diferentes agentes que participan en un determinado grupo social, comunidad, empresa, entre otras.

Esta sección propone una teoría de juegos no monetaria, donde los pagos no son económicos, sino emocionales o sociales, y los equilibrios reflejan estados de cooperación, altruismo, presión social o exclusión.

Modelo básico de juego afectivo

Imaginemos un juego entre dos investigadores de la Universidad de Córdoba en el departamento de Economía de la Empresa, Clara y Julián, que colaboran en un proyecto académico que consiste en escribir un artículo académico relacionado con el uso de los métodos contables en empresas de servicios. Ambos enfrentan decisiones recurrentes sobre si apoyarse emocionalmente en momentos de vulnerabilidad. Estas decisiones no implican transferencias materiales, pero sí consecuencias simbólicas: fortalecimiento del vínculo, decepción, resentimiento o distanciamiento. Ambos pueden elegir entre:

- Apoyar (A): compartir recursos, ideas, contactos, reconocimiento público.
- No apoyar (N): actuar de forma individualista, ocultar información, no reconocer el trabajo del otro.

MATRIZ DE PAGOS SIMBÓLICOS-ECONÓMICOS:

	JULIÁN: A	JULIÁN: B
CLARA: A	(4,4)	(1,5)
CLARA: B	(5,1)	(2,2)

Interpretación de los valores

- Los números representan beneficios reputacionales y simbólicos, como prestigio académico, capital social, y acceso a futuras colaboraciones.
- El valor económico está implícito en el acceso a oportunidades, becas, publicaciones o invitaciones, que dependen de la reputación acumulada.

Por otro lado:

- 3: vínculo reforzado, satisfacción personal.
- 2: beneficio unilateral, pero con posible culpa o desequilibrio.
- 1: retraimiento mutuo, vínculo delimitado.
- 0: frustración por apoyo no correspondido.

Una de las cuestiones más importantes de la Teoría de juegos es buscar y analizar el equilibrio de Nash[6] que pueda existir en diferentes partes del juego que se está dando.

Equilibrios de Nash

En este caso no hay estrategias dominantes. Cada jugador elige sus opciones en función de lo que pueda hacer el otro.

Sin embargo, podemos encontrar equilibrios puros:

- (A, A): ambos se apoyan. Es un equilibrio de Nash estable y mutuamente beneficioso.
- (B, B): ambos se retraen. También es un equilibrio, aunque subóptimo.

Este juego presenta un dilema de la afectividad: el equilibrio más deseable requiere confianza mutua, pero el miedo al rechazo puede llevar al retraimiento.

[6] En honor a John Forbes Nash 1928-2015.

Juegos repetidos y dinámica de confianza

En contextos reales, las relaciones no se limitan a una única interacción. Se repiten en el tiempo, permitiendo estrategias condicionales como el Tit-for-Tat emocional: apoyar si el otro apoyó previamente. En base a esto, procedemos a introducir la función de confianza:

$$T_{i,j}(t + 1) = \alpha \cdot T_{i,j}(t) + \beta \cdot A_{i,j}(t)$$

Donde:

- $T_{i,j}(t + 1)$: confianza de i en j en el tiempo t .
- $A_{i,j}(t) \in \{0,1\}$: acción de apoyo (1) o no apoyo (0).
- $\alpha \in [0,1]$: persistencia emocional.
- $\beta > 0$: impacto de la reacción reciente

Este modelo permite simular cómo se construyen o erosionan los vínculos afectivos a lo largo del tiempo.

Sostenibilidad de la cooperación

En juegos infinitos o con horizonte incierto, la cooperación puede sostenerse como equilibrio si el valor presente de cooperar supera el de traicionar. De nuevo, podemos formular dicha condición de sostenibilidad de la siguiente manera:

$$\frac{3}{1-\gamma} \geq 2 + \frac{\gamma}{1-\gamma}$$

Resolviendo obtenemos: $\gamma \geq \frac{1}{2}$. Es decir, si los jugadores valoran suficientemente el futuro $(\gamma \geq 0.5)$ la cooperación emocional puede mantenerse como equilibrio.

Extensiones avanzadas de la teoría de juegos no monetaria

En los juegos de información incompleta, si Julián no sabe si Clara está emocionalmente disponible, se introduce una creencia subjetiva p sobre su disposición a cooperar. Esto da lugar a un juego bayesiano, donde las estrategias óptimas dependen de la información privada y las creencias.

Por otro lado, en una red con múltiples agentes, las estrategias afectivas pueden evolucionar. Aquellas que generan más vínculos estables se replican. Se puede modelar con dinámica replicadora:

$$\dot{x} = x_i\left(f_i(x) - \underline{f}(x)\right)$$

Donde:

- x_i: proporción de agentes con estrategia i .
- $f_i(x)$: recompensa simbólica esperada.
- $\underline{f}(x)$: recompensa media de la población.

Este enfoque permite estudiar la evolución cultural de normas afectivas, como la reciprocidad, el perdón o la exclusión. En consecuencia, la teoría de juegos no monetaria permite formalizar interacciones humanas donde los incentivos son simbólicos, afectivos o relacionales. El caso de Julián y Clara ilustra cómo decisiones aparentemente irracionales pueden modelarse como estrategias racionales dentro de una lógica emocional. Esta representación abre la puerta a una economía de las relaciones humanas, donde la matemática no sustituye la subjetividad, sino que la estructura y la hace analizable.

TOPOLOGÍA SOCIAL Y ESPACIOS DE RELACIONES

La topología, rama de las matemáticas que estudia las propiedades de los espacios que se conservan bajo transformaciones continuas, ofrece un marco eficiente para modelar estructuras sociales complejas. En el contexto de la sociología económica, la topología permite representar no solo la existencia de relaciones entre agentes, sino también su proximidad simbólica, cohesión, continuidad y estructura global.

Este enfoque se aleja de la cuantificación directa y se centra en las formas de conexión, los entornos relacionales y las propiedades emergentes de los sistemas sociales. La topología social no describe únicamente quién se relaciona con quién, sino cómo se organizan colectivamente las relaciones humanas en un espacio abstracto de vínculos.

Los espacios topológicos de las relaciones humanas

Sea X un conjunto de agentes sociales. Podemos definir una topología social τ sobre X como un conjunto de subconjuntos de X (llamas abiertos) que cumplen:

- $\theta \in \tau$ y $X \in \tau$
- La unión arbitraria de elementos de τ pertenece a τ .
- La intersección finita de elementos de τ pertenece a τ .

En este marco, un conjunto abierto representa un entorno relacional: un grupo de agentes que comparten una cercanía simbólica, afectiva o funcional. La topología permite modelar:

- Vecindad social: agentes con relaciones frecuentes o intensas.
- Conectividad: posibilidad de transitar de un agente a otro mediante relaciones.
- Componentes conexas: comunidades o subgrupos cohesionados.
- Fronteras: zonas de transición entre grupos sociales.

Continuidad y cohesión

Una función $f : X \to Y$ entre dos espacios sociales es continua si la imagen inversa de cualquier conjunto abierto en Y es un conjunto abierto en X . Esto permite modelar transformaciones sociales (como migraciones, cambios de identidad o movilidad relacional) que preservan la estructura de vínculos.

La cohesión social puede interpretarse como la compacidad del espacio: todo conjunto abierto que cubre el grupo tiene un subcubrimiento finito. Esto implica que la comunidad puede ser representada por un número limitado de relaciones clave.

Métricas simbólicas y proximidad

Podemos definir una distancia simbólica $d : X \times X \to R^+$ que mida la lejanía afectiva, ideológica o funcional entre agentes. Esta métrica puede construirse a partir de:

- Frecuencia de interacción.
- Nivel de confianza o reciprocidad.

- Similitud de valores, intereses o trayectorias.

Con esta métrica, el espacio social se convierte en un **espacio métrico**, donde se pueden definir bolas abiertas, convergencia de secuencias relacionales, y continuidad de trayectorias afectivas.

Aplicaciones sociológicas

Podemos hacer varias aplicaciones al campo de la ciencia sociológica en diferentes aspectos del análisis de social. Entre ellos están los siguientes:

- Comunidades y segregación.
- Espacios de afinidad: Se pueden construir espacios topológicos donde los abiertos representen grupos de afinidad (por ejemplo, redes de apoyo mutuo, colectivos ideológicos, etc.).
- Transiciones sociales: La continuidad de funciones permite modelar procesos de integración o ruptura: por ejemplo, cómo un individuo se incorpora a una comunidad o se distancia de ella.
- Topología en redes dinámicas.

Ejemplo

Consideremos un grupo de estudiantes universitarios que participan en diversas actividades extracurriculares: debates, voluntariado, investigación y deportes. Cada estudiante puede estar vinculado a otros por afinidad ideológica, colaboración académica o amistad. Queremos modelar este grupo como un espacio topológico de relaciones humanas.

- Definición del conjunto de agentes: Sea $X = \{A,\ B,\ C,\ D,\ E,\ F\}$ el conjunto de estudiantes

Las relaciones de afinidad,

Definimos una relación de afinidad $R =\subseteq\ X\ \times X$ basada en la participación conjunta en actividades y la afinidad ideológica. Por ejemplo:

- A está vinculado con B y C .
- B con $A,\ C,\ D$.
- C con $A,\ B$.
- D con $B,\ E$.
- E con $D,\ F$.
- F con E .

Construcción de la topología social

Definimos una topología τ sobre X donde los conjuntos abiertos representan entornos de afinidad. Por ejemplo:

- $U_1 = \{A,\ B,\ C\}$: grupo de afinidad académica.
- $U_2 = \{B,\ D,\ E\}$: grupo de voluntariado.
- $U_3 = \{E,\ F\}$: grupo deportivo.
- $U_4 = \{B,\ C\}$: subgrupo idológico.

La topología τ incluye:

- θ, X, U_1, U_2, U_3, U_4.
- Uniones e intersecciones finitas de estos conjuntos.

Análisis topológico

- Componentes conexas:
    - $\{A, B, C\}$: comunidad académica.
    - $\{D, E, F\}$: comunidad de acción social.
- Fronteras:
    - El estudiante B actúa como puente topológico entre comunidades.
- Cohesión:
    - El subconjunto $\{A, B, C\}$ es compacto: puede cubrirse con un número finito de entornos abiertos pequeños.
- Distancia simbólica:
    - Definimos una métrica $d(i, j)$ como el número mínimo de relaciones necesarias para conectar a i con j .
    - Por ejemplo, $d(A, F) = 4$, mientras que $d(B, C) = 1$.

Aplicaciones sociológicas

- Este modelo permite identificar núcleos de cohesión, zonas de transición y riesgos de aislamiento.
- Puede utilizarse para diseñar intervenciones que fortalezcan la conectividad.
- También permite estudiar cómo cambios en la red afectarían la estructura global del grupo.

En efecto,

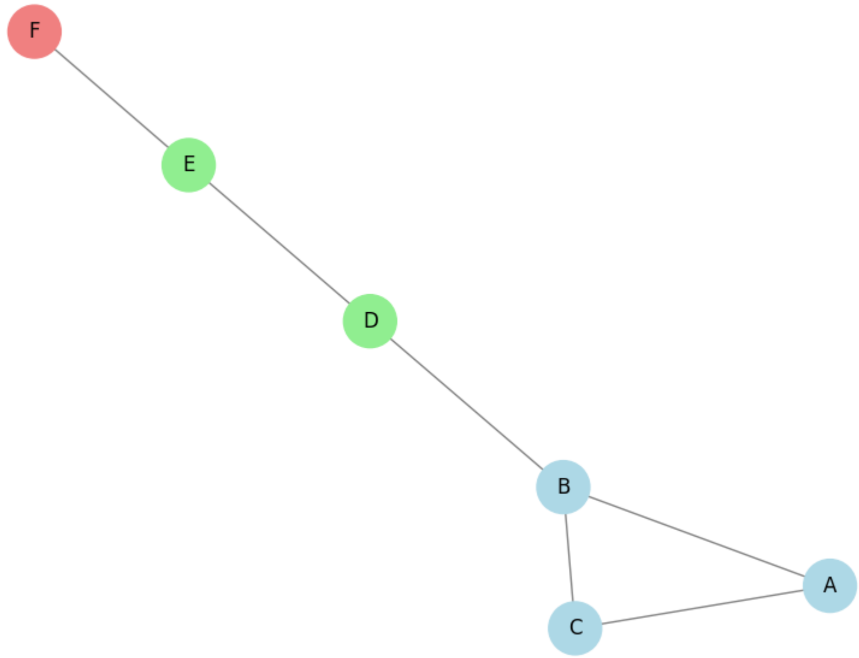

Figura 3. Este gráfico ilustra cómo se organizan los vínculos en entornos relacionales abiertos, cómo B actúa como puente topológico entre comunidades, y cómo se pueden identificar componentes conexas y zonas de transición social. Donde el color azul representa U_1, el verde U_2 y el rojo U_3. Fuente: Elaboración propia mediante Python.

La topología social ofrece un lenguaje formal para describir la estructura profunda de las relaciones humanas. Al centrarse en la forma y la organización de los vínculos, más que en su contenido cuantitativo, permite modelar fenómenos como la cohesión, la exclusión, la afinidad o la transformación relacional. Su integración en la sociología económica abre nuevas vías para comprender cómo se configuran los espacios simbólicos donde se toman decisiones, se construyen identidades y se generan dinámicas colectivas.

ESTADÍSTICA APLICADA A LAS RELACIONES HUMANAS

La estadística, como herramienta de análisis cuantitativo, permite modelar y comprender patrones emergentes en sistemas sociales complejos. En el contexto de la sociología económica relacional, la estadística no se aplica a variables monetarias, sino a interacciones humanas, vínculos afectivos, decisiones simbólicas y estructuras de reciprocidad. En base a esto, esta sección propone el uso de modelos probabilísticos, técnicas de inferencia y simulaciones para estudiar cómo se distribuyen, correlacionan y evolucionan las relaciones humanas donde las decisiones económicas y sociales son relevantes.

Variables relacionables

Se definen variables estadísticas que capturan aspectos clave de las relaciones humanas:

- Frecuencia de interacción: número de encuentros o comunicaciones entre agentes.
- Intensidad emocional: escala subjetiva de afecto, confianza o compromiso.

- Reciprocidad: grado en el que las acciones de un agente son correspondidas por otro.
- Centralidad afectiva: medida de influencia emocional en una red.

Estas variables pueden ser codificadas en escalas ordinales, intercalares o categóricas, y analizadas mediante técnicas estadísticas clásicas y avanzadas.

MODELOS PROBABILÍSTICOS

Distribución de interacción

Se puede modelar la probabilidad de interacción entre dos agentes i y j como:

$$P(i \Leftrightarrow j) = \frac{w_{ij}}{\sum_{k,l} w_{kl}}$$

Donde w_{ij} representa el peso simbólico de la relación (frecuencia, intensidad, etc).

Redes estocásticas

Modelos como el Stochastic Block Model (SBM) permiten identificar comunidades latentes en redes sociales, basadas en patrones de conexión probabilísticos.

Inferencia bayesiana

La probabilidad de que un agente coopere puede actualizarse en función de observaciones previas:

$$P(C_i/D) = \frac{P(D/C_i) \cdot P(C_i)}{P(D)}$$

Donde:

- C_i: hipótesis de cooperación del agente i .
- D : datos observados (acciones pasadas, contexto emocional).

Simulación de patrones afectivos

Mediante simulaciones Monte Carlo o agentes basados en reglas, se pueden explorar escenarios como:

- Evolución de confianza en una red.
- Propagación de emociones (alegría, conflicto, reconciliación).
- Formación y disolución de comunidades afectivas.

Estas simulaciones permiten observar dinámicas emergentes que no son evidentes en el análisis estático.

Aplicaciones a la ciencia sociológica

- Análisis de redes familiares, comunitarias o laborales.
- Estudios longitudinales sobre evolución de vínculos.
- Evaluación de políticas sociales que buscan fortalecer la cohesión.
- Diseños de entornos colaborativos basados en patrones de reciprocidad.

Ejemplo

Se simularon relaciones entre 10 agentes $A_1,\ A_2,\ \ldots,\ A_{10}$, generando datos sobre:

- Frecuencia de interacción $f_{ij}\ \in\ [0{,}10]$
- Intensidad emocional $e_{ij}\ \in\ [0{,}1]$
- Reciprocidad $r_{ij}\ \in\ [0{,}1]$

Cada par $(i,\ j)$ representa una relación simbólica entre dos agentes.

Tal y como comentamos, la probabilidad de interacción es mediable mediante $P(i\ \Leftrightarrow\ j) = \frac{w_{ij}}{\sum^{k,l}\ \ w_{kl}}$ donde $w_{ij} = f_{ij}$ es el peso simbólico de la relación basado en la frecuencia.

Distribuciones observadas

En efecto,

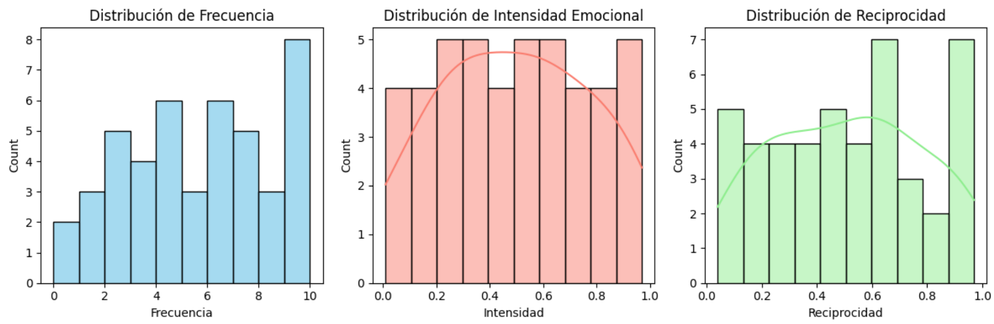

Figura 4. Distribuciones de frecuencia, intensidad y reciprocidad. Fuente: Elaboración propia mediante Python.

Podemos ver que:

- La frecuencia muestra una distribución uniforme.
- La intensidad emocional se concentra en valores medios.
- La reciprocidad tiende hacia valores altos, indicando tendencia a la correspondencia afectiva.

Correlaciones entre variables

Haciendo cálculos vemos que:

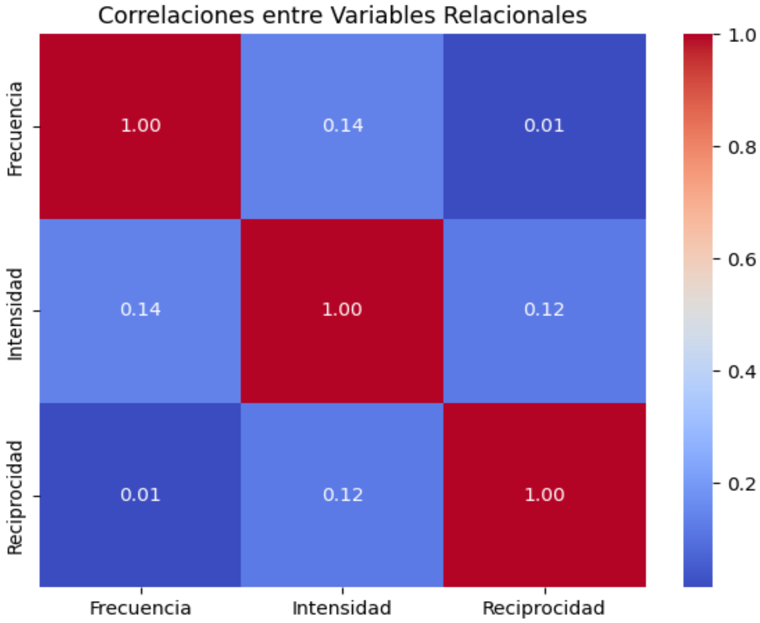

Figura 5. Correlación entre las diferentes variables analizadas en la figura anterior. Fuente: Elaboración propia mediante Python.

La matriz nos revela que:

- Correlación positiva entre frecuencia e intensidad emocional.
- Relación moderada entre intensidad y reciprocidad, lo que sugiere que los vínculos más intensos tienden a ser más recíprocos.

Conclusión sobre la estadística aplicada a las relaciones humanas

La estadística aplicada a relaciones humanas permite formalizar y analizar fenómenos afectivos y sociales con rigor cuantitativo. Al integrar variables simbólicas en modelos probabilísticos, se abre la posibilidad de validar empíricamente teorías relacionales, simular escenarios sociales y diseñar intervenciones basadas en evidencia. Esta aproximación refuerza el carácter científico de la sociología económica relacional, sin perder de vista la complejidad subjetiva de lo humano.

DISCUSIÓN Y COMPARACIÓN CON TEORÍAS EXISTENTES

El enfoque matemático-relacional desarrollado en este artículo se sitúa en diálogo con diversas tradiciones de la sociología económica. A continuación, se comparan sus fundamentos, y objetivos con los aportes de autores clásicos y contemporáneos, destacando convergencias, divergencias y posibilidades de integración.

Max Weber: Acción social y racionalidad

Weber (1922) define la acción social como aquella orientada por el comportamiento de otros, distinguiendo entre racionalidad instrumental y racionalidad valorativa. El enfoque aquí propuesto se alinea con la segunda, al considerar que las decisiones económicas no monetarias pueden estar guiadas por valores, afectos y vínculos.

Comparación:

- Weber: racionalidad subjetiva → interpretación.
- Este artículo: racionalidad relacional → representación.

La formalización matemática permite modelar acciones valorativas sin reducirlas a cálculos monetarios, preservando su complejidad simbólica.

Émile Durkheim: Cohesión social y estructura

Durkheim (1893) estudia cómo las estructuras sociales generan cohesión, especialmente en sociedades modernas. La noción de topología social desarrollada aquí formaliza esa cohesión como compacidad, conectividad y vecindad relacional, permitiendo medirla y simularla.

Comparación:

- Durkheim: cohesión como hecho social.
- Este artículo: cohesión como propiedad topológica.

Las matemáticas permiten modelar la cohesión social como compacidad y conectividad relacional, haciendo medible lo que Durkheim conceptualizó como hecho social.

Pierre Bourdieu: Capital simbólico y habitus

Bourdieu (1986) introduce el concepto de capital simbólico como recurso relacional, y el habitus como sistema de disposiciones internalizadas. En este artículo, el capital simbólico se modela como peso relacional en grafos y juegos no monetarios, y el sistema de disposiciones internalizadas como estrategia evolutiva en juegos repetidos.

Comparación:

- Bourdieu: análisis cualitativo y estructural.
- Este artículo: modelización cuantitativa y dinámica.

Los sistemas dinámicos permiten representar el capital simbólico como peso relacional y el habitus como estrategia evolutiva, estructurando dinámicas sociales complejas.

Mark Granovetter: Embebimento social

Granovetter (1985) sostiene que la acción económica está embebida[7] en redes sociales. La teoría de grafos y los modelos de reciprocidad desarrollados aquí formalizan ese embebimiento, permitiendo estudiar cómo la estructura de relaciones condiciona las decisiones.

Comparación:

- Granovetter: redes como contexto.
- Este artículo: redes como forma estructural.

La notación matemática para la sociología permite representar ese embebimiento como estructura relacional, haciendo visibles las redes que condicionan la acción económica.

Sociología computacional y teoría de redes

[7] Embebimiento social es el concepto desarrollado por Granovetter (1985) que sostiene que la acción económica está profundamente integrada en redes sociales, y no ocurre de forma aislada.

Autores contemporáneos como Duncan Watts (2003) y Alessandro Lomi (2001) han desarrollado modelos computacionales de redes sociales. Este artículo se sitúa en continuidad con esa tradición, pero incorpora técnicas adicionales y análisis matemáticos descrito en las secciones anteriores.

Economía conductual y relacional

La economía conductual (Kahneman, 2011 & Thaler, 2015) ha mostrado que las decisiones humanas no siguen siempre la lógica del homo economicus. Este artículo va más allá, proponiendo una economía de las relaciones humanas, donde las decisiones se modelan como interacciones simbólicas, afectivas y evolutivas.

Aportes matemáticos-relacionales:

- Formalización y representación de lo simbólico: permite modelar afectos, confianza y reputación entre agentes.
- Integración de técnicas matemáticas: Grafos, juegos, topología, estadística.
- Aplicabilidad empírica: Simulaciones, inferencias, análisis de redes reales.
- Interdisciplinariedad: Puente entre matemáticas, sociología y economía.

LIMITACIONES Y POSIBILIDADES

Si bien el enfoque matemático-relacional desarrollado en este trabajo aporta una formalización rigurosa de las relaciones humanas en entornos económicos no monetarios, sociales y psicológicos, es necesario reconocer sus límites epistemológicos, metodológicos y ontológicos. En primer lugar, existe el riesgo de incurrir en reduccionismo formal: traducir fenómenos afectivos, simbólicos o culturales a estructuras matemáticas puede simplificar excesivamente la riqueza semántica de estos conceptos. Modelar la confianza como una variable continua o la reciprocidad como una función puede ser útil para el análisis, pero también puede despojar a estos fenómenos de su ambigüedad, contradicción y subjetividad inherente.

Los modelos matemáticos propuestos en este artículo ofrecen una estructura formal robusta para representar dinámicas sociales no monetarias. Sin embargo, su aplicación empírica en contextos culturales diversos enfrenta ciertos límites. Las categorías afectivas, simbólicas y relacionales pueden variar significativamente entre culturas, lo que exige una adaptación contextual de las variables y parámetros utilizados. Además, la disponibilidad de datos relacionales fiables puede ser desigual según el entorno sociocultural.

No obstante, estos modelos también abren posibilidades relevantes: permiten comparar estructuras sociales entre culturas, identificar patrones universales de reciprocidad o cohesión, y simular escenarios de interacción en comunidades con distintas normas sociales. Su flexibilidad formal facilita la incorporación de especificidades culturales mediante ajustes en las funciones, métricas y reglas de interacción, lo que los convierte en formas importantes para la investigación comparada y la validación empírica intercultural.

Desde el punto de vista técnico, algunos modelos —especialmente aquellos que combinan grafos, juegos evolutivos y topología variable— pueden volverse computacionalmente complejos, lo que dificulta su aplicación práctica en estudios empíricos o en contextos con recursos limitados. La sofisticación formal debe equilibrarse con la viabilidad operativa.

Finalmente, existe el riesgo de universalización inapropiada: aplicar modelos matemáticos a cualquier fenómeno social puede ignorar las especificidades culturales, históricas o situacionales de las relaciones humanas. No todo lo social es formalizable, y no toda formalización y notación abstracta es deseable. Reconocer estos límites no debilita el enfoque, sino que lo fortalece al situarlo dentro de una perspectiva crítica, reflexiva y abierta al diálogo interdisciplinar.

CONCLUSIONES FINALES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

El presente artículo ha desarrollado un marco teórico y formal para el estudio de la sociología económica desde una perspectiva matemática y relacional. A través de técnicas antes descritas, se ha propuesto una modelización rigurosa de las interacciones económicas no monetarias, centradas en vínculos afectivos, simbólicos y sociales. Este enfoque permite superar las limitaciones de la economía clásica basada en el homo economicus, incorporando dimensiones como la confianza, la reciprocidad, la reputación y la cohesión comunitaria. La notación matemática no pretende sustituir la interpretación sociológica, sino complementarla, ofreciendo un lenguaje estructurado para analizar fenómenos complejos que tradicionalmente han sido abordados desde perspectivas cualitativas.

La integración de múltiples ramas formales ha permitido construir modelos que capturan tanto la estructura como la dinámica de las relaciones humanas. La teoría de grafos ha representado la arquitectura relacional; las ecuaciones diferenciales han modelado su evolución temporal; la teoría de juegos ha formalizado decisiones simbólicas; la topología ha descrito la forma y continuidad de los vínculos; y la estadística ha permitido inferencias y simulaciones sobre patrones afectivos.

Este marco abre múltiples líneas de investigación futura. En primer lugar, se propone la aplicación empírica de los modelos desarrollados a redes humanas reales, como comunidades locales, entornos laborales, grupos familiares o colectivos sociales. En segundo lugar, se plantea la extensión del enfoque a contextos interculturales e históricos, explorando cómo varían las estructuras relacionales según el entorno sociocultural. En tercer lugar, se sugiere el desarrollo de simulaciones computacionales más complejas, que integren aprendizaje automático y algoritmos adaptativos para modelar la evolución de vínculos en tiempo real.

Asimismo, se considera relevante la validación experimental de los modelos en entornos controlados, mediante estudios longitudinales, encuestas estructuradas y análisis de redes sociales digitales. Finalmente, se abre la posibilidad de integrar este enfoque con desarrollos recientes en inteligencia artificial, ética algorítmica y economía del comportamiento, contribuyendo a una comprensión más profunda y humanizada de los procesos económicos.

En suma, la sociología económica matemática propuesta aquí no busca reducir lo humano a lo formal, sino estructurar lo relacional para hacerlo analizable, simulable y aplicable. Se trata de una invitación a pensar la economía desde las relaciones, y a pensar las relaciones desde la matemática.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Banerjee, S. (2024). *A Study on Progress in Mathematical Sociology*. In *Recent Research Trends in Mathematics* (Vol. 6, pp. 111–124). Integrated Publications.

Bruni, L. (2006). *Il prezzo della gratuità*. Città Nuova.

Bourdieu, P. (1986). *The forms of capital*. In J. Richardson (Ed.), *Handbook of theory and research for the sociology of education* (pp. 241–258). Greenwood Press.

Coleman, J. S. (1990). *Foundations of social theory*. Harvard University Press.

De la Horra Navarro, J. (2018). *Modelos matemáticos para ciencias experimentales*. Ediciones Díaz de Santos. ISBN: 978-84-9052-209-7.

Durkheim, É. (1893/2014). *The division of labor in society* (W. D. Halls, Trans.). Free Press. https://doi.org/10.4324/9781315125910

Edelmann, A., Wolff, T., Montagne, D., & Bail, C. A. (2020). *Computational social science and sociology*. *Annual Review of Sociology*, 46, 61–81. https://doi.org/10.1146/annurev-soc-121919-054621

Edling, C. R. (2002). Mathematics in sociology. *Annual Review of Sociology*, *28*, 197–220. https://doi.org/10.1146/annurev.soc.28.110601.140942

Feitó Madrigal, D., Portal Boza, M., & Plascencia López, I. (Coords.). (2023). *Modelos estadísticos para la investigación científica: Aplicaciones en las áreas económico-administrativas*. Ediciones Comunicación Científica. ISBN: 978-607-59749-9-6.

Forni, G. (2022). *Mathematical Sociology and the Formalization of Social Dynamics*. *Journal of Social Modeling*, *34*(2), 115–132.

García Llamas, M. C., & Arribas Macho, J. M. (Eds.). (2018). *Fundamentos matemáticos para las ciencias sociales*. UNED Editorial.

Granovetter, M. (1985). Economic action and social structure: The problem of embeddedness. *American Journal of Sociology*, *91*(3), 481–510. https://doi.org/10.1086/228311

Kahneman, D. (2011). *Thinking, fast and slow*. Farrar, Straus and Giroux. https://doi.org/10.1037/e512572013-001

König, M. D., & Battiston, S. (2009). From graph theory to models of economic networks. In A. Naimzada, A. Stefani, & A. Torriero (Eds.), *Networks, topology and dynamics: Theory and applications to economics and social systems* (pp. 23–63). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-68409-1_2

Lomi, A., & Larsen, E. R. (Eds.). (2001). *Dynamics of organizations: Computational modeling and organization theories*. MIT Press.

Melamed, D., Schoon, E. W., & Breiger, R. L. (2024). *Regression Inside Out*. Cambridge University Press.

Newman, M. E. J. (2010). *Networks: An introduction*. Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199206650.001.0001

Osborne, M. J., & Rubinstein, A. (1994). *A course in game theory*. MIT Press. https://doi.org/10.7551/mitpress/3796.001.0001

Polanyi, K. (1944). *The great transformation: The political and economic origins of our time*. Farrar & Rinehart.

Reyes Pedreros, M. Y. (2009). *Pertinencia de la sociología económica para una Latinoamérica interrogada*. XXVII Congreso de la Asociación Latinoamericana de Sociología. https://www.aacademica.org/000-062/1287.pdf

Sánchez Sánchez, M. J., & Osuna Guerrero, R. (2022). *Matemáticas avanzadas para la economía*. UNED Editorial.

Shan, S. (2025). *Computational Architects of Society: Quantum Machine Learning for Social Rule Genesis*. arXiv preprint.

Thaler, R. H. (2015). *Misbehaving: The making of behavioral economics*. W. W. Norton & Company.

Thaler, R. H., & Sunstein, C. R. (2008). *Nudge: Improving decisions about health, wealth, and happiness*. Yale University Press. https://doi.org/10.2307/j.ctt1npzgj

Varsavsky, O., Calcagno, A. E., & otros. (1971). *Modelos matemáticos: Ensayos de aplicación a las ciencias sociales y la política económica en América Latina*. Editorial Universitaria.

Voelkel, J. G., & Freese, J. (2022). *Open Computational Social Science*. In *Handbook of Computational Social Science*.

Watts, D. J. (2003). *Six degrees: The science of a connected age*. W. W. Norton & Company. https://wwnorton.com/books/9780393325423

Weber, M. (1922/1978). *Economy and society: An outline of interpretive sociology* (G. Roth & C. Wittich, Eds.). University of California Press.

Zelizer, V. A. (2005). *The purchase of intimacy*. Princeton University Press.